

ANALISIS TEGANGAN JATUH (*DROP VOLTAGE*) PADA UNIT BOILER DI PPSDM MIGAS CEPU MENGGUNAKAN ETAP 12.6.0

Muhammad Mujiburrahman

S1 Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Surabaya, Ketintang 60231, Indonesia

Email: muhammad.17050874056@mhs.unesa.ac.id

Joko, Bambang Suprianto, Unit Three Kartini

S1 Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Surabaya, Ketintang 60231, Indonesia

Email: joko@unesa.ac.id, unitthree@unesa.ac.id, bambangsuprianto@unesa.ac.id

Abstrak

Listrik adalah sumber energi yang penting bagi masyarakat Indonesia untuk kehidupan sehari-hari. Energi listrik menjadi bahan dasar untuk menjalankan beberapa perangkat dan mesin-mesin yang beroperasi pada dunia industri. Tujuan penelitian ini adalah menghitung dan melakukan simulasi jatuh tegangan pada unit boiler di PPSDM Migas Cepu menggunakan *software* ETAP 12.6.0. dan mengetahui hasil analisis sesuai standar yang ditentukan oleh SPLN. Jenis penelitian ini adalah penelitian survei. Instrumen penelitiannya yaitu file sebagai pengumpul data yang dibutuhkan pada penelitian ini. Dalam penelitian ini penyusun menganalisis besarnya tegangan jatuh pada unit Boiler di PPSDM MIGAS Cepu dengan bantuan *software* ETAP 12.6.0 di dalam pelaksanaannya. Tahap selanjutnya, sebelum melakukan analisis, langkah yang dilakukan oleh penyusun yaitu pengumpulan data lapangan di PPSDM MIGAS Cepu. Selanjutnya yaitu dengan melakukan rancangan *Single Line Diagram* melalui *software* ETAP 12.6.0. Teknik analisis data dilakukan dengan membandingkan tegangan jatuh dari hasil ETAP 12.6.0. dengan standar rugi tegangan sesuai SPLN No.72 1987. Berdasarkan simulasi menggunakan *software* ETAP 12.6.0, diperoleh hasil pada Unit Boiler yaitu Boiler Compressor 1 nilainya mencapai 0,52% (terbesar nilai jatuh tegangannya) dan Pompa In Take Water 0,01% (terkecil nilai jatuh tegangannya). Nilai tegangan jatuh terbesar memenuhi standart maksimum yang ditentukan oleh SPLN No.72 1987 dengan nilai toleransi maksimum 5%. Sehingga dapat disimpulkan bahwa nilai tegangan jatuh yang terjadi sudah memenuhi dengan standarisasi dari PLN (SPLN No.72 1987) yaitu dengan besaran 0,01% hingga 0,52%. Hasil penelitian ini dapat menjadi masukan bagi PPSDM Migas Cepu dalam mengetahui jatuh tegangan pada unit boiler.

Kata Kunci: ETAP 12.6.0, PPSDM Migas Cepu, Jatuh Tegangan, Unit Boiler.

Abstract

Electricity is an important source of energy for their daily life. In modern industries. Electricity is the basic energy sources needed to run several devices and machines. The purpose of this study is to calculate and simulate the voltage drops across connected loads on the boiler unit at PPSDM Migas Cepu using ETAP 12.6.0. software and analyze the results in accordance to the standards determined by the SPLN. This type of research is survey research. The research instrument is a file as a data collector that is needed in this research. In this study, the authors used ETAP 12.6.0. as a tool to analyzed the magnitude of the voltage drops across connected loads on the boiler unit at PPSDM Migas Cepu in its implementation. In the next stage, before conducting the analysis, the steps taken was the collect field data at PPSDM MIGAS Cepu. The next step is to design a Single Line Diagram through the ETAP 12.6.0 software. The data analysis technique was carried out by comparing the voltage drop from the ETAP 12.6.0 results with the standard voltage loss according to SPLN No.72 1987. Based on the simulation using ETAP 12.6.0 software, the results obtained in the Boiler Unit, namely Boiler Compressor 1, the highest voltage drop value was 0,52% and Pump In take Water was the smallest measuring in 0,01%. The highest voltage drop meets the below maximum specified by SPLN No.72 1987 with a maximum tolerance value of 5%. So it can be concluded that the value of the voltage drop that occurs has complied with the standardization of PLN (SPLN No.72 1987) with a magnitude of 0.01% to 0.52%. The results of this study can be input for PPSDM Migas Cepu in knowing the voltage drop in the boiler unit.

Keywords: ETAP 12.6.0., PPSDM Migas Cepu, Power Loss, Boiler Unit.

PENDAHULUAN

Tuhan memberikan anugerah berupa sumber daya energi yang diperoleh dari alam kepada manusia untuk mendapatkan kemaslahatan masyarakat Indonesia yang bermukim di pedesaan maupun perkotaan. Listrik merupakan sumber energi yang sangat dibutuhkan oleh manusia. Hampir di segala aspek pekerjaan manusia modern saat ini memerlukan energi listrik termasuk di Indonesia.

Seiring dengan kemajuan teknologi, permasalahan pada dunia listrik sering terjadi salah satunya pada kebutuhan energi listrik. Kebutuhan energi listrik yang semakin bertambah setiap tahunnya seiring dengan penambahan konsumen, pertumbuhan bisnis, industri, dan lain sebagainya. Di Indonesia saat ini telah mengalami peningkatan untuk memajukan sistem kelistrikan pada pendistribusian energi listrik. Sistem distribusi merupakan unsur dari sistem tenaga listrik. Maka dari itu untuk meminimalisir dan menekan terjadinya tegangan jatuh (*drop voltage*) pada suatu jaringan dapat dilakukan upaya meningkatkan keandalan pada pendistribusian energi listrik (Winarno, 2016).

Tegangan jatuh (*drop voltage*) di sistem distribusi bisa berlangsung pada transformator distribusi, jaringan tegangan rendah, jaringan tegangan menengah. Kualitas dari tegangan yang sudah dikirim tidak mungkin akan maksimal pada saat diterima. Munculnya tegangan jatuh (*drop voltage*) disebabkan banyaknya aspek yang dapat mempengaruhinya yaitu, ketidak rataan pembagian beban, panjang penyaluran dari beban, besar kecilnya diameter pada saluran penghantar.

Di dalam situasi seperti itu jika terus di hiraukan dapat menyebabkan turunnya kualitas dari keandalan sistem tenaga listrik dan dapat mempengaruhi pada kualitas energi yang disalurkan tidak maksimal serta bisa menimbulkan rusaknya peralatan yang bersangkutan (Baqarruzi, 2020).

Oleh sebab itu, perlunya usaha dari sisi industri mempunyai keandalan dan pengoptimalan dalam pendistribusian energi listrik. Timbulnya tegangan jatuh ini biasanya sering dipengaruhi oleh panjangnya saluran dan nilai arus. Hal itu adalah salah satu aspek timbulnya tegangan jatuh semakin besar. Dari sisi lain nilai impedansi dan reaktansi juga bisa mempengaruhi nilai pada tegangan jatuh itu sendiri, karena semakin besar nilai impedansi dan reaktansi pada suatu saluran maka nilai pada tegangan jatuh pun juga menjadi besar (Syahputra, 2017).

Ada satu cara untuk bisa menghasilkan keefisienan dan pengoptimalan di dalam pendistribusian energi listrik yaitu dengan cara nilai tegangan jatuh (*drop voltage*) pada sistem distribusi kelistrikan industri memenuhi syarat standar yang sudah ditetapkan sesuai (SPLN 72: 1987). SPLN sendiri memiliki kepanjangan Standar Perusahaan Listrik

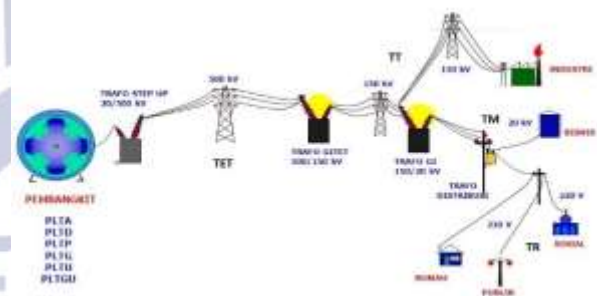
Negara, batas maksimal drop tegangan yang diizinkan adalah 5%.

Berdasarkan uraian di atas menunjukkan bahwa perlu dilakukan analisis jatuh tegangan pada saluran distribusi tenaga listrik, termasuk jatuh tegangan pada saluran distribusi tenaga listrik yang ada pada unit boiler di PPSDM Migas Cepu, sehingga penulis melakukan penelitian dengan judul: "Analisis Tegangan Jatuh Pada Unit Boiler Di PPSDM Migas Cepu Berbasis ETAP 12.6.0".

Rumusan masalah pada penelitian ini adalah: 1) berapa persen (%) besar jatuh tegangan pada unit boiler di PPSDM Migas Cepu dengan menggunakan *software* ETAP?, dan 2) apakah besar jatuh tegangan yang terjadi pada unit boiler di PPSDM Migas Cepu masih memenuhi ketentuan SPLN No.72 1987?. Adapun tujuan penelitian ini adalah: 1) mengetahui jatuh tegangan dengan menghitung dan melakukan simulasi jatuh tegangan dalam bentuk persen (%) pada unit boiler di PPSDM Migas Cepu menggunakan *software* ETAP 12.6.0, 2) besar jatuh tegangan yang terjadi pada unit boiler di PPSDM Migas Cepu memenuhi atau tidak memenuhi ketentuan SPLN No.72 1987.

Sistem Distribusi Tenaga listrik.

Diagram sistem distribusi tenaga listrik dapat dilihat pada gambar 1 di bawah ini.



Gambar 1. Diagram Sistem Distribusi Tenaga Listrik
(Sumber: Suhadi, 2008)

Sistem Distribusi ialah bagian dari sistem tenaga listrik. Sistem distribusi ini berguna untuk menyalurkan tenaga listrik dari sumber daya listrik hingga ke konsumen-konsumen (Suswanto, 2009). Jadi fungsi distribusi tenaga listrik adalah :

- 1) Penyaluran tenaga listrik ke beberapa tempat (pelanggan/konsumen).
- 2) Merupakan sub sistem tenaga listrik yang hubungannya langsung dengan pelanggan / konsumen, karena daya pada pusat beban (pelanggan) dilayani langsung oleh jaringan distribusi.

Pembangkit tenaga listrik besar menghasilkan tenaga listrik dengan tegangan 11kV hingga 24kV oleh Gardu

Induk tegangannya dinaikan menggunakan transformator penaik tegangan (*Step up*) menjadi 70kV, 154kV, 220kV atau 500kV lalu disalurkan melalui saluran transmisi. Tujuan menaikan tegangannya adalah meminimalisir kerugian daya listrik pada saluran transmisi, Menurut Hontong (2015) dimana dalam hal ini kerugian daya adalah sebanding dengan kuadrat arus yang mengalir ($I^2.R$). Dengan daya yang sama apabila nilai tegangannya diperbesar, maka arus yang mengalir semakin kecil sehingga kerugian daya juga kecil juga

Secara umum, saluran distribusi tenaga listrik dapat diklasifikasikan sebagai berikut.

1. Menurut Ukuran Tegangannya

a. Sistem Jaringan Distribusi Primer

Sistem jaringan distribusi primer biasa disebut jaringan distribusi tegangan tinggi (JDTT) ini terletak antara gardu induk dengan gardu pembagi, yang memiliki tegangan sistem lebih tinggi dari tegangan terpakai untuk konsumen. Standar tegangan untuk jaringan distribusi primer ini adalah 6kV, 10kV, dan 20kV (Suswanto, 2009).

b. Sistem Jaringan Distribusi Sekunder

Sistem jaringan distribusi sekunder atau biasa disebut jaringan distribusi tegangan rendah (JDTR), merupakan jaringan yang berfungsi sebagai penyalur tenaga listrik dari gardu-gardu pembagi (gardu distribusi) ke pusat-pusat beban (konsumen tenaga listrik). Besarnya standar tegangan untuk jaringan distribusi sekunder ini adalah 220/380 V, serta 440/550 V untuk keperluan industri.

2. Menurut Bentuk Tegangannya

- Jaringan Distribusi DC (*Direct Current*) yang sering disebut arus searah.
- Jaringan Distribusi AC (*Alternating Current*) yang sering disebut arus bolak-balik

3. Menurut Jenis Konduktornya

- Saluran Bawah Tanah
Saluran bawah tanah ialah pemasangan kabel-kabel di dalam tanah menggunakan kabel tanah (*ground cable*).
- Saluran Bawah Laut
Saluran bawah laut ialah pemasangan kabel-kabel di dasar laut dengan menggunakan kabel laut (*submarine cable*).
- Saluran Udara
Saluran udara ialah pemasangan kabel pada tiang tiang listrik dengan perlengkapan yang dibutuhkan. saluran udara dapat dibedakan atas :

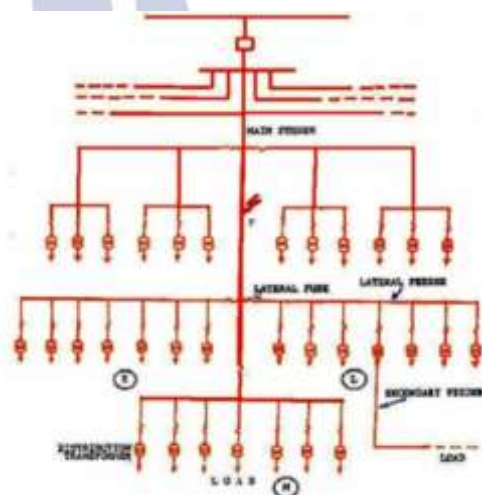
Saluran kabel udara, jika konduktornya terbungkus isolasi.

Saluran kawat udara, jika konduktornya telanjang (tanpa isolasi pembungkus)

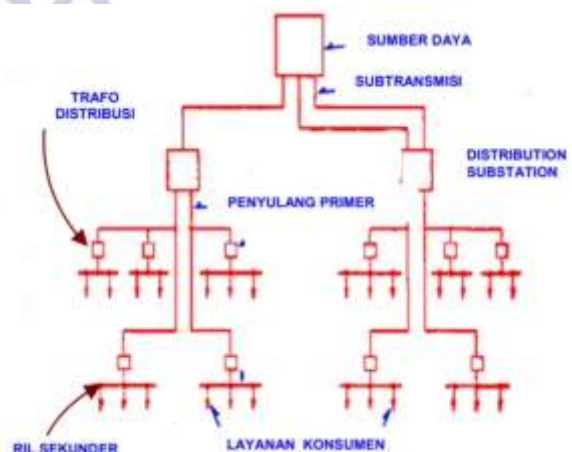
Jaringan Distribusi Radial

Jaringan distribusi radial dapat dikategorikan bentuk jaringan yang paling sederhana dan ekonomis. Satu saluran utama dibentang sesuai kebutuhannya, setelah itu dicabangkan dengan saluran cabang (lateral penyulang) dan lateral penyulang ini dicabangkan lagi dengan sublateral penyulang (anak cabang). Sesuai kerapatan arus yang ditanggung oleh masing-masing saluran, yang terbesar adalah ukuran penyulang utama, kemudian yang lebih kecil adalah ukuran lateral dan ukuran yang terkecil adalah sub lateral.

Berikut adalah gambar Jaringan Distribusi Radial tipe pohon dan beserta komponennya.



Gambar 2. Jaringan Distribusi Radial
(Sumber: Suhadi, 2008)



Gambar 3. Komponen Jaringan Distribusi Radial
(Sumber: Suhadi, 2008)

Tegangan Jatuh

Tegangan jatuh (*Drop Voltage*) atau adalah besar aliran tegangan listrik pada kabel penghantar dan mendapat beban listrik kemudian mengalami penurunan. Dalam arti lain, tegangan jatuh merupakan selisih pada suatu instalasi listrik, di antara besar tegangan pada sumber (pangkal) dan besar tegangan beban (ujung) dari suatu instalasi listrik (Gonen, 1988). Misalnya, ukuran besar tegangan listrik dari sumber yaitu 380 Volt, lalu dialirkan dengan kabel penghantar ke berbagai ujung peralatan listrik, jadi besar tegangan yang diterima oleh peralatan listrik akan menurun (kurang dari semula yaitu 380V). Nilai tegangan yang mengalami penurunan tersebutlah yang disebut dengan tegangan jatuh.

Ada beberapa faktor penyebab terjadinya tegangan jatuh (*drop voltage*) pada instalasi listrik, diantaranya:

1. Panjang Kabel Penghantar

Jika kabel penghantar semakin panjang, maka besar pula kerugian tegangan atau tegangan jatuh yang terjadi.

2. Besar arus

Jika arus listrik yang mengalir pada penghantar semakin besar, maka besar pula kerugian tegangan atau tegangan jatuh yang terjadi.

3. Jenis tahanan (Rho)

Jika jenis tahanan dari bahan penghantar yang digunakan semakin besar maka besar pula kerugian tegangan atau tegangan jatuh yang terjadi, Jenis penghantar yang dipakai dapat dipengaruhi oleh besar kecilnya jenis tahanan penghantar (Stevenson, 1994)

4. Luas Penampang

Jika ukuran luas penampang penghantar yang digunakan semakin besar, maka semakin kecil kerugian tegangan atau tegangan jatuh yang terjadi.

Penyebab tegangan jatuh adalah bagian pada sistem daya yang memiliki tegangan berbeda, selain itu tegangan jatuh juga dipengaruhi oleh reaktansi, impedansi, dan resistensi yang berada di saluran.

Terdapat dua unsur pada penurunan tegangan, yaitu:

- a. I.R, adalah tahanan saluran yang mengakibatkan rugi tegangan
- b. I.X, adalah reaktansi induktif yang mengakibatkan rugi tegangan

Besarnya rugi tegangan dapat dinyatakan sebagai berikut.

$$\Delta V = I \cdot R \cdot \cos \phi + I \cdot X \cdot \sin \phi \quad (1)$$

$$\Delta V = I \cdot Z \quad (2)$$

Keterangan :

ΔV = Jatuh tegangan (Volt)

X = Reaktansi saluran (Ohm)

$\cos \phi$ = Sudut dari faktor daya beban

V_s = Tegangan kirim (Volt)

R = Tahanan saluran (Ohm)

V_r = Tegangan terima (Volt)

I = Arus yang mengalir (Ampere)

Z = Impedansi saluran (Ohm)

Kemudian seiring berjalannya waktu, beban (konsumen) yang tersambung pada jaringan PLN juga mengalami penambahan. Penambahan tersebut juga bisa mengakibatkan tegangan di titik-titik beban mengalami penurunan sehingga kualitas tegangan yang terpasang pada suatu jaringan distribusi bisa di bawah tegangan sekunder. Besar simbol drop tegangan dinyatakan dengan ΔV (Stevenson, 1994).

Besarnya jatuh tegangan pada jaringan tegangan menengah (JTM) dibolehkan sebesar 2% untuk sistem jaringan spindel dan 5% untuk sistem jaringan radial (SPLN 72: 1987). Batas maksimal drop tegangan tersebut digunakan untuk mengoptimasi jaringan yang pada awalnya nilai jatuh tegangan berubah-ubah sesuai fluktuasi beban.

Untuk mengetahui tegangan pelayanan pada saluran masih dalam kategori standar atau tidak menggunakan rumus persentase *drop voltage* sebagai berikut.

$$\Delta V (\%) = \frac{V_s - V_r}{V_s} \times 100\% \quad (3)$$

Keterangan :

$\Delta V (\%)$ = Jatuh tegangan dalam % (Volt)

Analisis nilai tegangan jatuh dan besarnya, dapat memanfaatkan *Software* ETAP 12.6.0 karena analisis secara manual menggunakan rumus dirasa terlalu rumit dan untuk meminimalisir terjadinya *human error*. Karena sistem pada *software* tersebut tentunya sudah ditata dengan baik sehingga memberi kemudahan kepada penggunaanya (Kurniawan, 2016).

ETAP

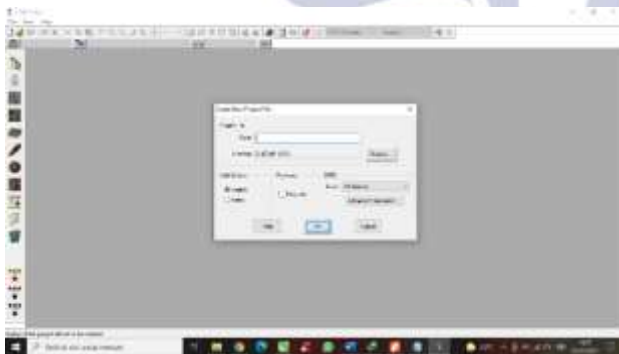
Software (perangkat lunak) yang bersifat mendukung suatu sistem pada tenaga listrik adalah ETAP atau *Electric Transient Analysis Program*. *Software* tersebut diperlukan karena kepentingan simulasi perencanaan / analisis sebelum mengerjakan proyek pada bidang tenaga listrik. Terdapat dua mode kerja pada ETAP *Power Station* yaitu offline (simulasi tenaga listrik) dan online (mengelola data real time). *Software* tersebut juga digunakan dalam membuat pekerjaan sistem tenaga listrik dengan *single line diagram* (bentuk diagram satu garis) serta jalur pada sistem pentanahan dengan bermacam bentuk analisis yaitu aliran daya, starting motor, hubungan singkat, koordinasi relay

proteksi, transient stability, sistem harmonisa, dan lain-lain (Hayusman, dkk., 2017)

Software ini bertujuan untuk mempermudah dalam perhitungan yang valid. Dengan *software* ETAP bisa melakukan analisis jaringan dan juga bisa digunakan memvisualisasikan respon dari jaringan ketika adanya perubahan parameter-parameter daya yang tidak stabil (Pebriati, 2017).

ETAP *Power Station* memiliki fasilitas *Library* yang data datanya bisa diubah sesuai yang aslinya pada komponen-komponen yang dipakai. Melainkan untuk mendukung pembuatan simulasi aplikasi ini juga dilengkapi berbagai macam tool yang memiliki fungsi berbeda, banyak tool yang mendeskripsikan suatu komponen yang digunakan pada suatu jaringan yang akan dianalisis. Dalam *software* ETAP digunakan dua standar untuk menganalisis kelistrikan yaitu standar ANSI (American National Standards Institute) dan IEC (International Electrotechnical Commission). Keduanya pun juga mempunyai perbedaan ketentuan frekuensi yang digunakan. ANSI menggunakan standar ketentuan frekuensi 60 Hz, sedangkan IEC menggunakan standar ketentuan frekuensi 50 Hz. Hal tersebut menyebabkan spesifikasi peralatan yang digunakan pun juga berbeda. Di Indonesia, sistem tenaga listrik menggunakan standar dari IEC yaitu dengan frekuensi 50 Hz.

Gambar 4 di bawah adalah *User Interface* dari *software* ETAP 12.6.0. :



Gambar 4. Halaman Awal pada *Software* ETAP 12.6.0

Karena ada beberapa faktor yang mempengaruhi terjadinya tegangan jatuh dan jika tidak segera dibenahi hal ini dapat menyebabkan kerusakan pada transformator dan saluran penghantar. Oleh karena itu agar mempermudah cara mengetahuinya penelitian ini akan meneliti bagaimana cara menghitung tegangan jatuh pada masing-masing beban menggunakan *software* ETAP.

Penulis melakukan penelitian dengan judul Analisis Tegangan Jatuh Pada Unit Boiler Di PPSDM Migas Cepu Berbasis Etap 12.6.0.

Macam-macam *tool* pada *software* ETAP 12.6.0. bisa dilihat pada gambar 5 di bawah ini.



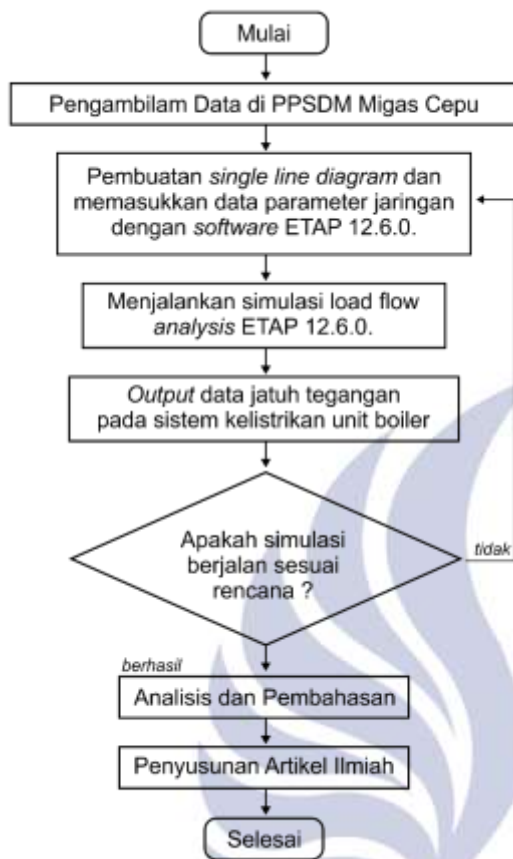
Gambar 5. Edit Toolbar *Software* ETAP 12.6.0

METODE

Jenis penelitian ini adalah penelitian survei. Penelitian survei merupakan pemeriksaan untuk memperoleh fakta dari penyebab permasalahan serta mencari keterangan faktual dari berbagai institusi pada individu atau suatu kelompok (Nazir, 2003). Pendekatan yang digunakan pada penelitian yaitu pendekatan kuantitatif. Menurut Sugiyono (2013) pendekatan kuantitatif adalah pendekatan yang berguna untuk meneliti populasi atau sampel tertentu sesuai instrumen penelitian bertujuan untuk menguji hipotesis. Teknik pengumpulan data pada penelitian ini adalah mencari referensi dari jurnal-jurnal yang relevan dengan penelitian ini berasal dari internet dan memperkuat data dengan data yang diperoleh dari PPSDM Migas Cepu. Instrumen penelitiannya yaitu file sebagai pengumpul data yang sedang dibutuhkan pada penelitian ini. Sampel penelitian ini adalah Unit Boiler di Pusat Pengembangan Sumber Daya Manusia Minyak dan Gas Bumi Cepu.

Lokasi penelitian (pengambilan data) berada di PPSDM Migas Cepu, Blora, Jawa Tengah. Untuk proses pengolahan data dilakukan di rumah peneliti. Sedangkan untuk waktu penelitian yaitu bulan Juni 2021. Teknik Analisis data pada penelitian ini yaitu membandingkan besar jatuh tegangan yang dianalisis menggunakan *Software* ETAP *Power Station* dibandingkan dengan ketentuan jatuh tegangan sesuai SPLN 72 Tahun 1987.

Pada Gambar 6 mengenai diagram alir penelitian dijelaskan sebagai berikut.



Gambar 6. Diagram Alir Penelitian

Pada tahap pengumpulan data dilakukan pengambilan data secara *online* dengan melakukan pengambilan data berupa *single line* diagram, tegangan nominal, kapasitas bus bar, kapasitas transformator, resistansi dan reaktansi kabel, panjang dan jenis kabel, beserta kapasitas beban. Selanjutnya proses pengolahan data dilakukan simulasi pada *Software* ETAP dengan menggambar dan memasukkan *single line* diagram lengkap dengan nilai dan besaran serta menganalisis hasilnya. Dilakukan analisis data sesuai simulasi yang dilakukan pada *software* ETAP *Power Station* 12.6.0. dengan membandingkan standar dari SPLN 72 Tahun 1987. Setelah analisis yang dilakukan sudah selesai maka dilakukan penyusunan tugas akhir berupa pembahasan berdasarkan hasil penelitian dan referensi.

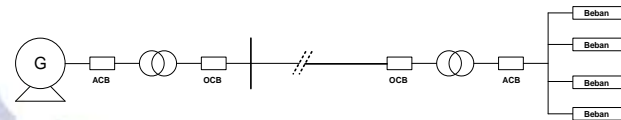
HASIL DAN PEMBAHASAN

Sistem Distribusi pada PPSDM Migas

Sistem distribusi tenaga listrik yang digunakan di PPSDM Migas Cepu yaitu tegangan output dari pembangkit (generator) senilai 400 Volt dinaikan oleh transformator *step up* menjadi 6,1 kV dan ditampung pada busbar yang

ada di *switchgear*. Hasil tegangan yang sudah di *step up* yang bernilai 6,1 kV didistribusikan dengan kabel bawah tanah yang berjenis N2XSEFGbY, lalu diterima oleh beberapa transformator *step down*, tegangannya berubah menjadi 380 V dan 400 V. Beban yang ada di PPSDM Migas ini terbagi menjadi 2 yaitu Trafo 1, 2, dan 3 dikendalikan oleh PT. PLN dan lainnya dilayani oleh pembangkit PPSDM Migas Cepu.

Gambar 7 di bawah adalah sistem jaringan distribusi 2 transformator :



Gambar 7. Jaringan 2 Transformator Distribusi di PPSDM Migas

Jaringan primer radial tersebut, utamanya digunakan pada area yang memiliki beban rendah kepadatan beban, jaringan tersebut juga merupakan bentuk dasar yang biasa digunakan (umum). Saluran pertama dibentangkan berdasar keperluan, kemudian dilakukan pencabangan dengan saluran cabang atau lateral penyulang, selanjutnya lateral penyulang tersebut ditambah pencabangannya dengan anak cabang atau sublateral penyulang. Kelemahan pada sistem ini yaitu terjadinya rugi tegangan yang besar mengakibatkan kualitas pada pelayanan daya menjadi kurang baik, serta tidak adanya jaminan keberlanjutan pelayanan daya disebabkan karena diantara titik beban dan sumber hanya terdapat satu saluran alternatif, akibatnya saluran akan padam total. Kelebihan pada sistem ini yaitu mampu dengan model sederhana dan biaya yang sangat minim.

Saluran Penghantar

Pada saluran utama penyaluran tenaga listrik di PPSDM Migas Cepu menggunakan kabel bawah tanah yang berjenis N2XSEFGbY 3 x 95 mm² 6/10 kV – Cu / XLPE / CTS / PVC / SFWA / PVC. (*Copper Conductor, XLPE Insulated, Copper Tape Screen, Galvanized Steel Flat Wire Armor, PVC Sheathed*) *Standard Specification: IEC 60502-2*. Data elektrik kabel tersebut dapat dilihat pada tabel 1.

Tabel 1. Data Elektrik kabel N2XSEFGbY – 6/10 kV

Nom. Crocc Sect. (mm ²)	Conductor		Inductance (mH/km)
	DC Resistance At 20°C Max (Ω/km)	AC Resistance At 90°C Max (Ω/km)	
25	0.727	0.927	0.342
35	0.524	0.668	0.325

50	0.387	0.494	0.296
70	0.268	0.342	0.296
95	0.193	0.247	0.303
120	0.153	0.196	0.276
150	0.124	0.160	0.268
185	0.0991	0.128	0.262
240	0.0754	0.099	0.055
300	0.0601	0.080	0.252

(Sumber: Kabel Metal Indonesia. 2009)

Tabel di atas didapat dari kmi.co.id karena PPSDM Migas Cepu menggunakan data elektrik kabel dari Kabel Metal Indonesia. Berdasarkan tabel 1, tenaga listrik di PPSDM Migas Cepu menggunakan kabel N2XSEFGbY dengan ukuran 95 mm² sebagai saluran utama, maka dari itu resistansi ialah 0,247 Ω /km.

Tabel 2 merupakan data panjang saluran kabel antara transformator dengan transformator lainnya dan juga nilai resistansi dan nilai reaktansinya, bisa dilihat pada tabel dibawah ini.

Tabel 2. Panjang Saluran Kabel Antar Transformator dan Nilai R, X

Kabel	Panjang (Km)	Resistansi (0,247 Ω / km)	Reaktansi (0,094 Ω /km)
Antara Busbar dengan Trafo 1	0,435	0,107	0,041
Antara Trafo 1 dengan Trafo 2	0,145	0,035	0,013
Antara Trafo 2 dengan Trafo 3	0,340	0,083	0,032
Antara Busbar dengan Trafo 8 & 10	0,190	0,046	0,018
Antara Busbar dengan Trafo 13	0,200	0,049	0,019
Antara Busbar dengan Trafo 14	0,015	0,004	0,002

(Sumber: Data dari PPSDM Migas Cepu. 2021)

Generator

Spesifikasi generator dapat dilihat pada tabel 3 di bawah ini

Tabel 3. Data Kapasitas Generator PPSDM Migas

NO.	ID	Merk	Tegangan (KV)	Daya Semu (KVA)
1	Generator 1 Cummins (II)	Newage Stamford	0,4	1000
2	Generator 2 Cummins (V)	Newage Stamford	0,4	1030
3	Generator 8 Cummins (III)	ONAN	0,4	1000
4	Generator 9 Cummins (IV)	ONAN	0,4	640

(Sumber: Data dari PPSDM Migas Cepu. 2021)

Data Kapasitas Transformator PPSDM Migas dapat dilihat pada tabel 4 di bawah ini.

Transformator

Nama, kapasitas semu dan tegangan pada tiap-tiap transformator dapat dilihat pada tabel 4 di bawah ini.

Tabel 4. Data Kapasitas Transformator PPSDM Migas

NO	ID	Tegangan (KVA)	Daya Semu (KV)
1	Transformator 17 (Step Up)	1600	0,4/6,1
2	Transformator 18 (Step Up)	800	0,4/6,1
3	Transformator 19 (Step Up)	630	0,4/6,1
4	Transformator 8 (Step Down)	630	6,1/0,38
5	Transformator 10 (Step Down)	200	6,1/0,38
6	Transformator 13 (Step Down)	630	6,1/0,38
7	Transformator 14 (Step Down)	200	6,1/0,38
8	Transformator 1 (Step Down)	500	6,1/0,38
9	Transformator 2 (Step Down)	500	6,1/0,38
10	Transformator 3 (Step Down)	630	6,1/0,38

(Sumber: Data dari PPSDM Migas Cepu. 2021)

Pada tabel di atas dijelaskan mengenai transformator yang digunakan di PPSDM Migas Cepu meliputi nama, kapasitas semu dan tegangan. Beban pada transformator 1, 2, dan 3 telah disuplai penuh oleh pihak PLN namun apabila terjadi pemadaman dari PLN maka suplai daya akan di bantu oleh PLTD PPSDM Migas Cepu, oleh karena itu pembahasan pada kali ini hanya menganalisis tentang tegangan jatuh pada Unit Boiler, dan Unit Boiler berada pada distribusi transformator 10.

Beban Unit Boiler

Penelitian pada kali ini hanya menganalisis beban transformator 10 pada Unit Boiler.

Pada tabel 5 di halaman selanjutnya kita dapat melihat beban apa saja yang beroperasi pada unit boiler beserta keterangan lainnya

Tabel 5. Data Beban pada unit Boiler

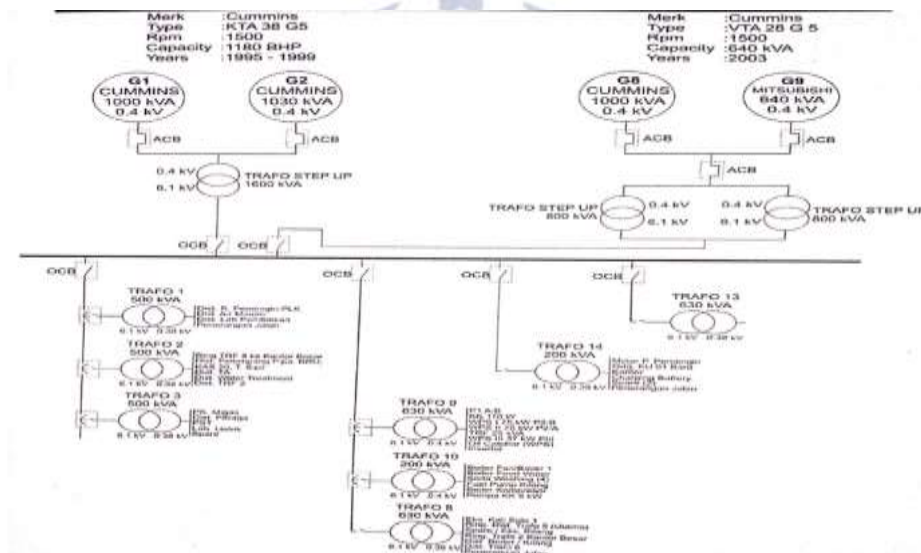
Beban	Jumlah Beban yang Operasi	Beban Terpasang (KW)	Total Operasi (KW)	Panjang Saluran (Meter)
Boiler Fun	1	15	15	200
Fuel Pump	1	2,2	2,2	200
Pompa Feed Water + Boiler	1	15	15	200
Boiler Compressor1	1	45	45	200

Boiler Compressor 2	1	37	37	200
Fan Boiler Compressor 1	1	4	4	200
Air Dryer	1	1,9	1,9	200
Pompa In Take Water	1	0,25	0,25	200
TOTAL			120,35	

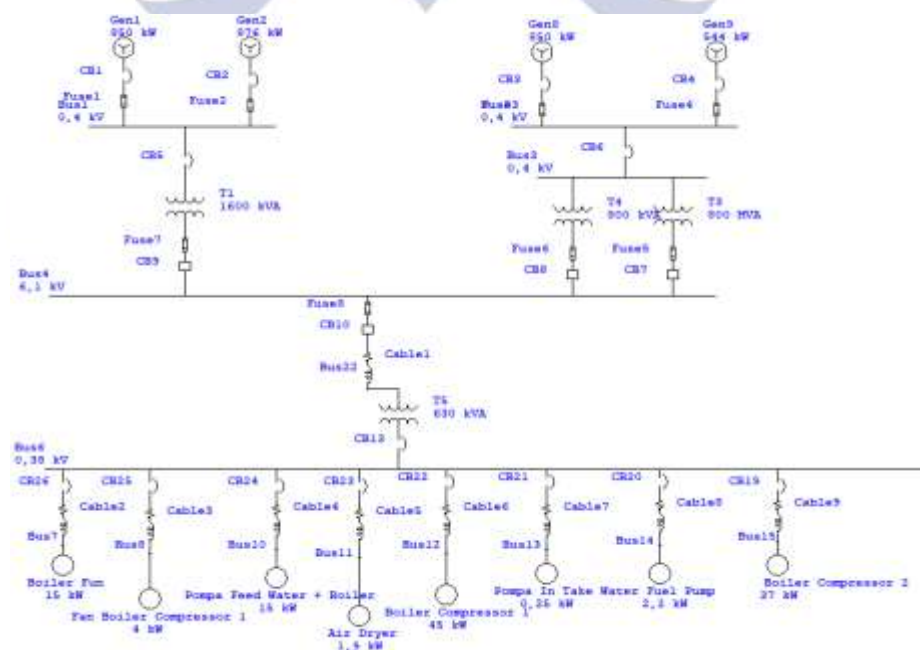
(Sumber: Data dari PPSDM Migas Cepu. 2021)

Berdasarkan tabel 5 telah dijelaskan mengenai beban pada unit boiler yang digunakan oleh PPSDM Migas Cepu yaitu, meliputi nama, banyaknya beban yang terpasang, total daya operasi dan panjang saluran pada beban. Dengan total daya operasi pada unit boiler sebesar 120,35 KW.

Setelah melakukan riset tentang sistem distribusi di PPSDM Migas Cepu, lalu bisa dilakukan permodelan single line menggunakan *software* ETAP 12.6.0, sebagai simulator untuk mempresentasikan hasil kondisi yang sedang terjadi secara detail. Simulasi dengan *software* ETAP ini sangat membantu karena bisa menganalisis jatuh tegangan dengan cepat dan juga efisien.



Gambar 8. Single Line Diagram PPSDM Migas Cepu
(Sumber: Data PPSDM Migas Cepu)



Gambar 9. Single Line Diagram Unit Boiler
(Sumber: Data PPSDM Migas Cepu)

Tabel 6. Laporan ringkasan *Branch Losses*

Branch Losses Summary Report									
CKT / Branch	From-To Bus Flow		To-From Bus Flow		Losses		% Bus Voltage		Vd % Drop
ID	MW	Mvar	MW	Mvar	kW	kvar	From	To	in V mag
T1	0.000	0.000	0.000	0.000	0.0	0.0	100.0	100.0	0.00
T3	0.153	0.079	-0.153	-0.079	0.0	0.0	100.0	100.0	0.00
T4	0.000	0.000	0.000	0.000	0.0	0.0	100.0	100.0	0.00
Cable1	0.154	0.079	-0.154	-0.079	0.0	0.0	100.0	100.0	0.01
Cable2	0.019	0.010	-0.019	-0.010	0.0	0.0	99.0	98.8	0.19
Cable3	0.005	0.003	-0.005	-0.003	0.0	0.0	99.0	98.9	0.06
Cable4	0.019	0.010	-0.019	-0.010	0.0	0.0	99.0	98.8	0.19
Cable5	0.003	0.002	-0.003	-0.002	0.0	0.0	99.0	98.9	0.03
Cable6	0.056	0.026	-0.056	-0.026	0.3	0.2	99.0	98.4	0.52
Cable7	0.001	0.000	-0.001	0.000	0.0	0.0	99.0	99.0	0.01
Cable8	0.003	0.002	-0.003	-0.002	0.0	0.0	99.0	98.9	0.03
Cable9	0.047	0.022	-0.046	-0.022	0.2	0.2	99.0	98.5	0.46
T5	-0.153	-0.076	0.154	0.079	0.7	2.6	99.0	100.0	1.04
					1.2	3.1			

Sumber: Tangkapan Layar dari software ETAP 12.6.0

Tabel 6 pada halaman sebelumnya merupakan hasil dari perhitungan jatuh tegangan (*drop voltage*) yang telah disimulasikan menggunakan ETAP 12.6.0. Pada tabel 7 di bawah ini keterangan dari nomor ID beban unit boiler pada *software* ETAP 12.6.0.

Tabel 7. Keterangan ID pada Unit Boiler pada *Branch Losses*

ID Beban Unit Boiler	Keterangan
Cable 2	Boiler Fan
Cable 3	Fan Boiler Compressor1
Cable 4	Pompa Feed Water + Boiler
Cable 5	Air Dryer
Cable 6	Boiler Compressor 1
Cable 7	Pompa In Take Water
Cable 8	Fuel Pump
Cable 9	Fan Boiler Compressor2

Pada halaman sebelumnya (gambar 9) ialah *single line* diagram dari *power plant* pada unit boiler PPSPDM Migas Cepu menggunakan *software* ETAP 12.6.0. Untuk mensimulasikan menggunakan ETAP 12.6.0 pastikan parameternya benar dan lengkap, dan pastikan juga pemodelan *single line* nya sudah diselesaikan. Lalu, klik ikon *Load Flow Analysis* untuk mensimulasikan. Selanjutnya, klik *Run Losses*. Simulasi pada analisis sistem kelistrikan unit boiler PPSPDM

Migas Cepu, memanfaatkan suplai daya generator 2 dan kapasitas 876 kW dengan kondisi normal yang memenuhi beban. Pada tabel 6 merupakan hasil simulasi tegangan jatuh (*drop voltage*) menggunakan *software* ETAP. Dari perhitungan tersebut dapat diperoleh hasil tegangan jatuh terbesar yaitu 0,52%. Angka tersebut menurut syarat standarisasi PLN (SPLN No. 72 1987) tergolong memenuhi standar, karena drop tegangannya tidak melebihi 5%.

Dari hasil yang terjadi dapat disimpulkan nilai jatuh tegangan (*drop voltage*) bisa terjadi dikarenakan oleh beberapa aspek, salah satunya nilai impedansi dan saluran penghantar, dimana nilai tersebut dapat dipengaruhi oleh reaktansi dan resistansi dari saluran penghantar. Situasi ini mengakibatkan nilai dari resistansi dan reaktansi menjadi besar, lalu nilai dari tegangan jatuh (*drop voltage*) akan menjadi besar juga. Tabel 8 adalah hasil nilai tegangan di tiap-tiap beban dalam satuan *volt* dan satuan persen (%) pada Unit Boiler.

Tabel 8. Hasil Perhitungan Tegangan Jatuh pada Unit Boiler (Transformator 10)

Beban	Tegangan pada sisi beban (Volt)	Tegangan Jatuh (%)
Boiler Fun	375,2	0,19
Fuel Pump	375,8	0,03
Pompa Feed Water + Boiler	375,2	0,19

Boiler Compressor 1	374,1	0,52
Boiler Compressor 2	374,3	0,46
Fan Boiler Compressor 1	375,8	0,06
Air Dryer	375,9	0,03
Pompa In Take Water	376	0,01

Pada tabel 9 di bawah ini adalah perbandingan perhitungan jatuh tegangan secara manual dan perhitungan menggunakan *software* ETAP 12.6.0. dalam bentuk persen (%)

Tabel 9. Hasil Perbandingan Perhitungan Tegangan Jatuh secara manual dan perhitungan menggunakan *software* ETAP 12.6.0. dalam bentuk persen (%)

Beban	Manual	ETAP 12.6.0
Boiler Fun	0,37 %	0,19 %
Fuel Pump	0,05 %	0,03 %
Pompa Feed Water + Boiler	0,37 %	0,19 %
Boiler Compressor 1	1,11 %	0,52 %
Boiler Compressor 2	0,91 %	0,46 %
Fan Boiler Compressor 1	0,09 %	0,06 %
Air Dryer	0,04 %	0,03 %
Pompa In Take Water	0,006 %	0,01 %

Hasil Perhitungan Drop Voltage Secara Manual

$$V_r = \frac{(\sqrt{3} \times \rho \times L \times I \times \cos\phi)}{A} \quad (4)$$

$$I = \frac{P}{V \times \sqrt{3} \times \cos\phi} \quad (5)$$

Keterangan :

P : Tahanan Jenis (ρ)
 L : Panjang Kabel Penghantar
 A : Luas Penampang

1. Boiler Fun (15 KW = 15000 W)

Dengan persamaan (5) , maka arus yang di dapat sebesar 28,5 A. Selanjutnya menggunakan persamaan (4) tegangan jatuh yang di hasilkan sebesar 1,42 V. Maka presentase rugi tegangan pada boiler fun dengan 15000 W sebesar 0,37%.

2. Fan Boiler Compressor (4 KW = 4000 W)

Dengan persamaan (5) , maka arus yang di dapat sebesar 7,54 A. Selanjutnya menggunakan persamaan (4) tegangan jatuh yang di hasilkan sebesar 0,37 V. Maka presentase rugi tegangan pada boiler fun dengan 4000 W sebesar 0,09% .

3. Pompa Feed Water + Boiler (15 KW = 15000 W)

Dengan persamaan (5) , maka arus yang di dapat sebesar 28,5 A. Selanjutnya menggunakan persamaan (4) tegangan jatuh yang di hasilkan sebesar 1,42 V. Maka presentase rugi tegangan pada boiler fun dengan 15000 W sebesar 0,37%.

4. Air Dryer (1,9 KW = 1900 W)

Dengan persamaan (5) , maka arus yang di dapat sebesar 3,58 A. Selanjutnya menggunakan persamaan (4) tegangan jatuh yang di hasilkan sebesar 0,17 V. Maka presentase rugi tegangan pada boiler fun dengan 1900 W sebesar 0,04% .

5. Boiler Compressor 1 (45 KW = 45000 W)

Dengan persamaan (5) , maka arus yang di dapat sebesar 84,91 A. Selanjutnya menggunakan persamaan (4) tegangan jatuh yang di hasilkan sebesar 4,25 V. Maka presentase rugi tegangan pada boiler fun dengan 45000 W sebesar 1,11%.

6. Pompa In Take Water (0,25 KW = 250 W)

Dengan persamaan (5) , maka arus yang di dapat sebesar 0,47 A. Selanjutnya menggunakan persamaan (4) tegangan jatuh yang di hasilkan sebesar 0,023 V. Maka presentase rugi tegangan pada boiler fun dengan 250 W sebesar 0,06% .

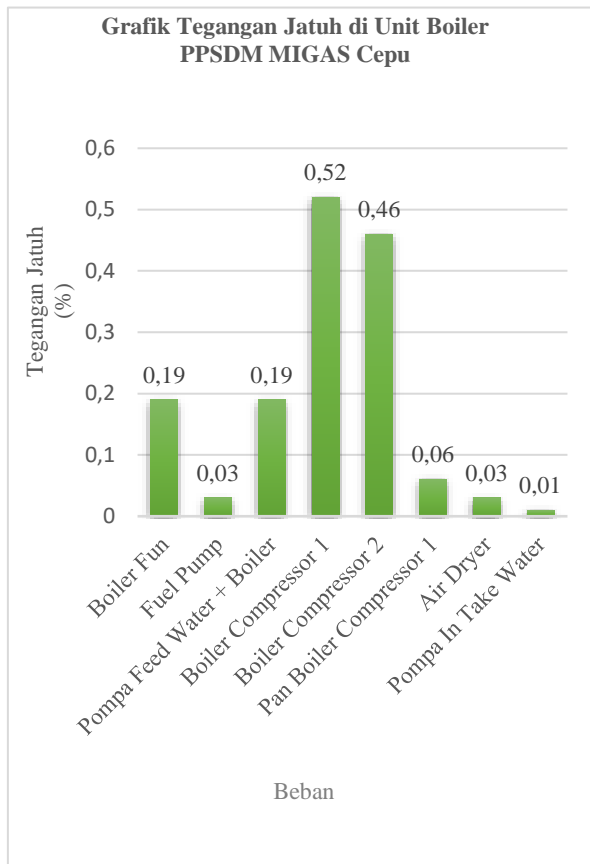
7. Fuel Pump (2,2 KW = 2200 W)

Dengan persamaan (5) , maka arus yang di dapat sebesar 4,15 A. Selanjutnya menggunakan persamaan (4) tegangan jatuh yang di hasilkan sebesar 0,207 V. Maka presentase rugi tegangan pada boiler fun dengan 2200 W sebesar 0,05%.

8. Boiler Compressor 2 (37 KW = 37000 W)

Dengan persamaan (5) , maka arus yang di dapat sebesar 69,82 A. Selanjutnya menggunakan persamaan (4) tegangan jatuh yang di hasilkan sebesar 3,49 V. Maka presentase rugi tegangan pada boiler fun dengan 37000 W sebesar 0,91% .

Grafik perhitungan jatuh tegangan dalam bentuk persen (%) saluran distribusi tenaga listrik pada unit boiler menggunakan *software* ETAP dapat dilihat pada gambar di halaman di bawah ini.



Gambar 11. Grafik Tegangan Jatuh (*Drop Voltage*) Pada Unit Boiler

Dari gambar 11 yang berbentuk grafik dapat disimpulkan bahwa Boiler Compressor 1 menjadi beban yang paling besar nilai jatuh tegangannya yaitu 0,52 % dan Pompa In Take Water menjadi beban yang paling kecil jatuh tegangannya yaitu 0,01 %. Ini dapat terjadi karena besar arus, panjang kabel, dan kondisi dari peralatan bisa menyebabkan terjadinya jatuh tegangan (*drop voltage*).

Besar jatuh tegangan pada unit boiler di PPSPDM Migas Cepu dapat diketahui dari hasil simulasi *software* ETAP 12.6.0. dengan satuan persen (%) yaitu bisa dilihat pada tabel 6 tentang laporan ringkasan *Branch Losses* pada unit boiler. Secara keseluruhan jatuh tegangan (*drop voltage*) di tiap-tiap saluran pada sistem Jaringan Tegangan Menengah (JTM) yang paling besar adalah 0,52 % atau 5,9 V berasal dari nilai daya semu unit boiler (Transformator 10) yaitu 380 V dikurangi oleh tegangan pada sisi beban (tabel 8). Sehingga menurut standar dari PLN (SPLN No. 72 1987) perancangan jaringan dibuat agar jatuh tegangan (*drop voltage*) di

ujung penerima tidak melebihi 5 %. Hal ini dapat disimpulkan sistem pada jaringan distribusi di PPSPDM Migas Cepu masih berjalan atau beroperasi dengan sangat baik.

Hasil penelitian ini, sejalan dengan penelitian sebelumnya yaitu penelitian oleh Kurniawan (2016) dengan judul “Analisa Jatuh Tegangan Dan Penanganan Pada Jaringan Distribusi 20 KV Rayon Palur PT. PLN (PERSERO) Menggunakan ETAP 12.6.0” yang dapat ditarik kesimpulan hasil pembahasan yang telah dilakukan mengenai drop tegangan pada jaringan distribusi menengah 20 KV dapat diambil kesimpulan tegangan terimanya 19,857 KV dengan drop tegangan 0,143 KV dan prosentase dropnya 0,00611%. Besar drop tegangan pada saluran tersebut masih dalam keadaan standar PLN karena belum melebihi setandar yang telah ditentukan yaitu 10% dari tegangan nominalnya. Drop tegangan sangat dipengaruhi oleh panjang penghantar serta nilai impedansi dimana nilai tersebut dipengaruhi oleh nilai resistansi dan nilai reaktansi saluran, semakin besar nilai reaktansi dan nilai resistansi maka drop tegangan akan semakin besar. Hanya saja mestinya besarnya jatuh tegangan untuk JTM sesuai SPLN 72 tahun 1987 seharusnya sebesar 5%.

PENUTUP

Simpulan

Tujuan analisis tegangan jatuh pada unit boiler PPSPDM Migas Cepu adalah melihat keadaan jatuh tegangan pada unit boiler tersebut supaya tegangan dapat sesuai dengan standar dan beroperasi dengan baik. Uji unit boiler tersebut memiliki acuan dasar yaitu standarisasi PLN (SPLN No. 72 1987). Analisis dilakukan menggunakan *software* ETAP 12.6.0, dengan hasil tegangan jatuh pada unit Boiler paling besar 0,52% dari tegangan nominal. Hasil analisis tegangan jatuh masing masing beban pada unit boiler dalam itungan persen (%) yaitu Pompa In Take Water (0,01%), Fuel Pump dan Air Dryer (0,03%), Fan Boiler Compressor 1 (0,06%), Boiler Fun dan Pompa Feed Water + Boiler (0,19%), Boiler Compressor 2 (0,46%), Boiler Compressor 1 (0,52%). Keadaan tersebut terjadi karena panjang saluran penghantar serta nilai impedansi. Jika nilai resistansi dan reaktansi semakin besar, akibatnya tegangan jatuh juga semakin besar. Hasil pengujian tersebut tergolong wajar karena sudah sesuai dengan standarisasi PLN (SPLN No. 72 1987) dengan batas toleransi 5 %. Simpulan dari hasil penelitian ini adalah, tegangan jatuh senilai 0,52 % dari perhitungan ETAP tidak melebihi 5% memenuhi standarisasi yang ditetapkan PLN (SPLN No. 72 1987).

SARAN

Saran dari penulis untuk penelitian selanjutnya yang serupa, diharapkan memanfaatkan *software* ETAP 12.6.0, hal tersebut karena *software* ETAP 12.6.0 dirasa mampu untuk menganalisis secara detail tentang sistem kelistrikan. Saluran penghantar dan transformator wajib dikontrol berkala, dengan tujuan nilai tegangan jatuh tetap sesuai standarisasi. Kunci sebuah transformator dapat bertahan lama dan berusia panjang adalah beban yang diterima wajib dibatasi.

DAFTAR PUSTAKA

- Baqaruzi, F. 2020. *Analisis Jatuh Tegangan dan Rugi-rugi Akibat Pengaruh Penggunaan Distributed Generation Pada Sistem Distribusi Primer 20 KV*. Cilacap: Skripsi Politeknik Negeri Cilacap.
- Gonen, T. 1988. *Modern Power System Analysis*. Canada: Jhon Wiley and Sons.
- Hariyadi, S. 2017. *Analisis Rugi-Rugi Daya dan Jatuh Tegangan pada Saluran Transmisi Tegangan Tinggi 150 KV pada Gardu Induk Palur – Masaran*. Skripsi. Progam Studi Teknik Elektro. Universitas Muhammadiyah Surakarta.
- Hontong, N. J. 2015. *Analisa Rugi – Rugi Daya Pada Jaringan Distribusi Di PT. PLN Palu*. E-Journal Teknik Elektro dan Komputer, ISSN . 2301-8402, 64-71.
- Kurniawan, A. 2016. *Analisa Jatuh Tegangan Dan Penanganan Pada Jaringan Distribusi 20 KV Rayon Palur PT. PLN (PERSERO) Menggunakan ETAP 12.6.0*. Skripsi. Progam Studi Teknik Elektro. Universitas Muhammadiyah Surakarta.
- Nazir, M. 2003. *Metode Penelitian*. Jakarta: Ghalia Indonesia.
- Nugroho, A., D. H. Kusumastuti dan B. Winardi. 2017. *Perencanaan Perbaikan JTR Penyulang SRL001 Di Daerah Tanjungsari Guna Mengurangi Drop Tegangan Konsumen Pada PT PLN (Persero) Rayon Semarang Selatan Menggunakan Software ETAP 12.6.0*. Skripsi. Semarang : Universitas Diponegoro Semarang
- Pebriati, P. 2020. *Analisa Jatuh Tegangan Pada Sistem Jaringan Distribusi 20KV di Gardu Induk Solo Baru Menggunakan Software ETAP 12.6.0*. Skripsi. Progam Studi Teknik Elektro. Universitas Muhammadiyah Surakarta.
- SPLN No.72 1987. *Spesifikasi Desain Untuk Jaringan Tegangan Menengah (JTM) dan Jaringan Tegangan Rendah (JTR)*. Departemen Pertambangan dan Energi Perusahaan Umum Listrik Negara
- Standar. America National Standards Institute (ANSI) C84-1-1970
- Standar. International Electrotechnical Commision (IEC) 60196- 1985
- Standar. International Electrotechnical Commision (IEC) 60502-2- 1990.
- Stevenson, William D. 1994. *Power System Analysis*. New York: McGraw Hill
- Sugiyono. 2013. *Metode Penelitian Kuantitatif, Kualitatif dan R&D*”, Bandung: Alfabeta.
- Suhadi dan Tri Wrahatnolo. 2008. *Teknik Distribusi Tenaga Listrik Jilid I*, Direktorat Pembinaan Sekolah Menengah Kejuruan Dirjen Manajemen Pendidikan Dasar dan Menengah Departemen Pendidikan Nasional.
- Suswanto, D. 2009. *Sistem Distribusi Tenaga Listrik-Edisi Pertama*”, Padang, Universitas Negeri Padang.
- Syahputra, R. 2017. *Transmisi Dan Distribusi Tenaga Listrik*. edited by D. I. Soesanti. Yogyakarta: LP3M UMY.
- Winarno, H. 2016. *Perbaikan Losses dan Drop tegangan PWI 9 dengan Pelimpahan Beban Ke Penyulang Baru PWI 11 di PLN (PERSERO) Semarang*. Skripsi .Semarang: Jurusan Teknik Elektro, Universitas Diponegoro Semarang.